

Les enjeux énergétiques mondiaux
La place du Nucléaire
Partie 2

Bertrand BARRÉ
Directeur R&D - COGEMA



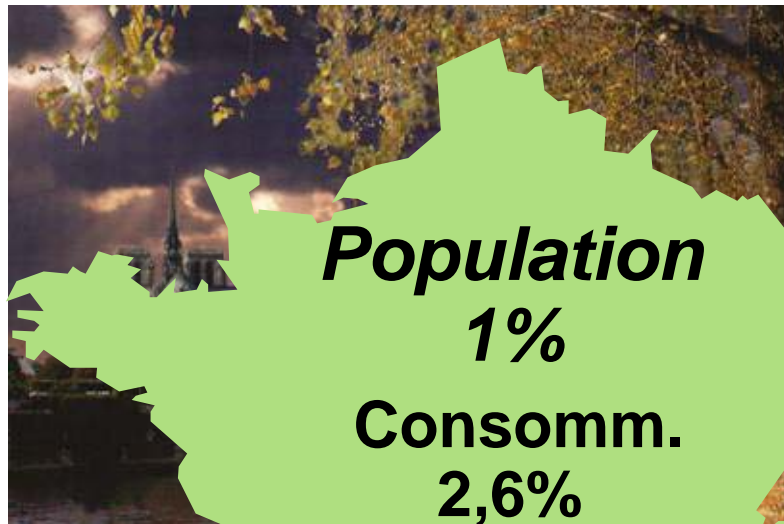
Enjeux énergétiques mondiaux

La place du Nucléaire



- La demande : hier, aujourd'hui, demain
- L'offre : les différentes sources
- Les contraintes du développement durable
- **Zoom sur la France**
- Spécificités de l'énergie nucléaire
- Résumé

« Douce France... »



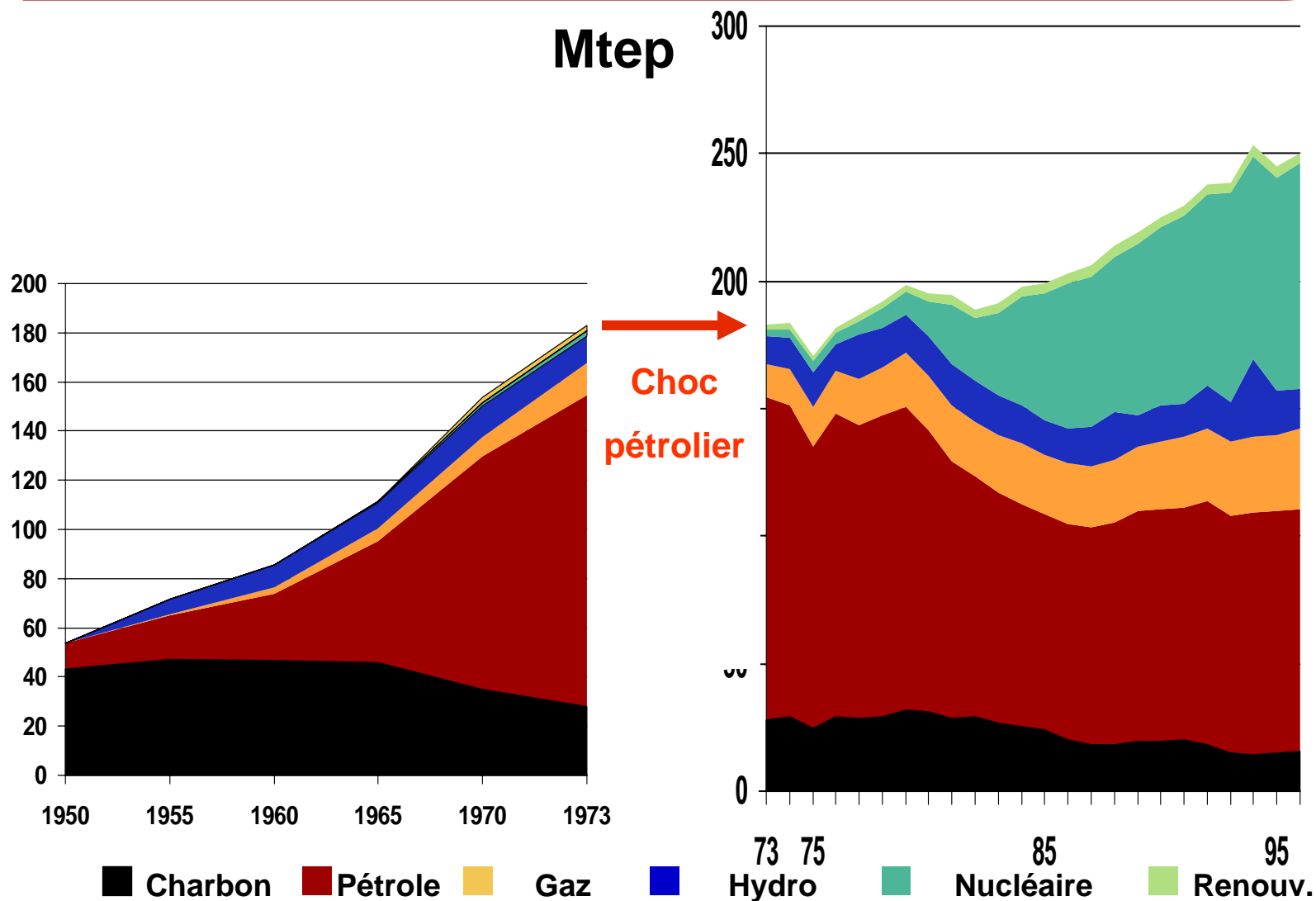
Population
1%

Consomm.
2,6%

Production
1,3%

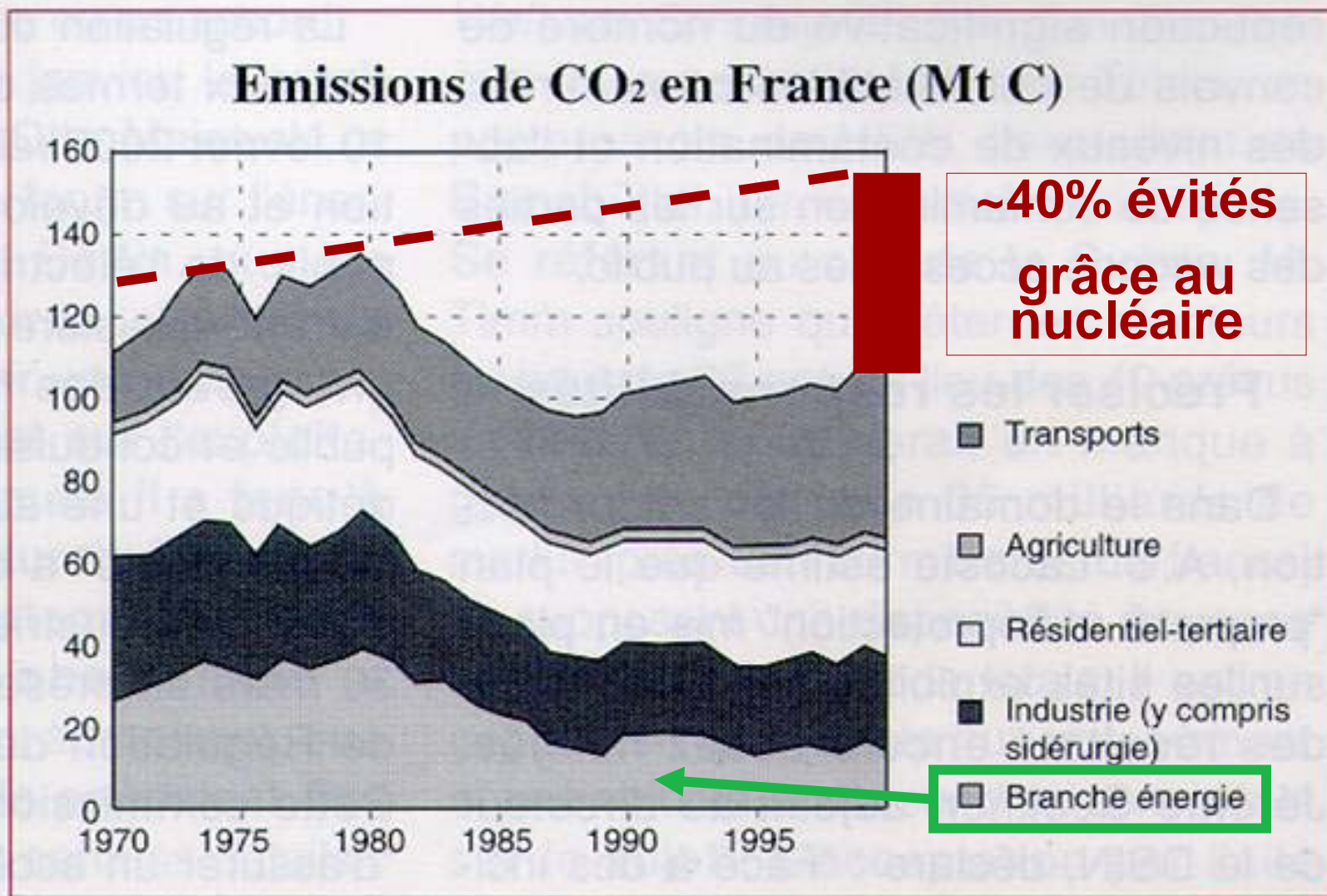
Réserves
0,02%

Réponse à la crise pétrolière de 73



Voir en Annexes 5 & 6

Gaz à effet de serre



Voir en Annexe 12

Facture énergétique française, en MF



	1998	1999	2000
Charbon (CMS)	5 106	4 704	6 302
Pétrole	52 746	70 924	137 700
Gaz	18 484	17 788	31 476
Électricité	-16 005	-16 664	-20 040
TOTAL	60 331	76 7552	155 745

1982 : 175 GF, ~300 GF₉₉

Enjeux énergétiques mondiaux

La place du Nucléaire



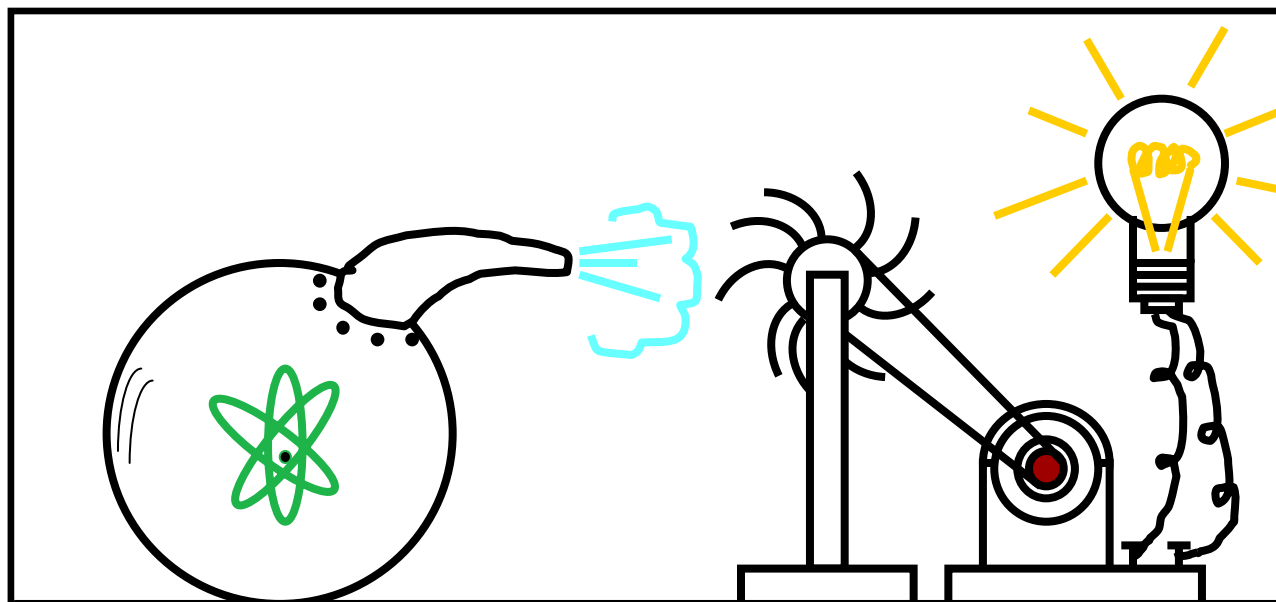
- La demande : hier, aujourd'hui, demain
- L'offre : les différentes sources
- Les contraintes du développement durable
- Zoom sur la France
- **Spécificités de l'énergie nucléaire**
- Résumé

A quoi ça sert ?



■ L'Énergie Nucléaire est un procédé compliqué pour faire bouillir de l'eau

- ➔ En grande quantité
- ➔ Sans feu
- ➔ Pas cher*



*Voir Annexes 7, 8 & 9

Assemblage Combustible REP



Grappe de contrôle

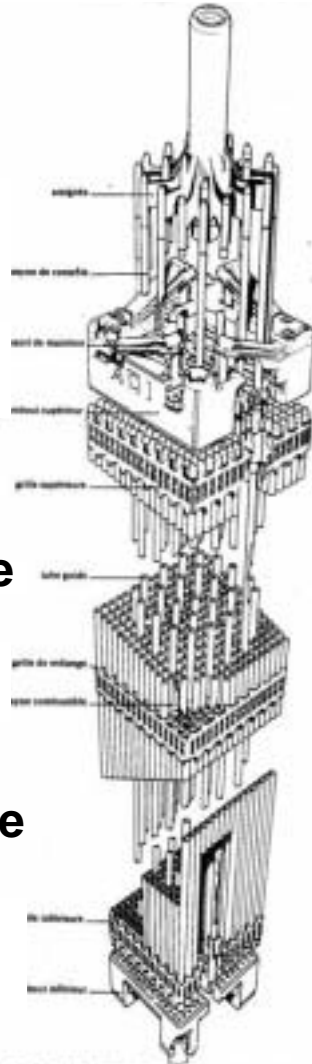
Embout supérieur

Tube guide

Grille de mélange

Crayon combustible

Embout inférieur



ASSEMBLAGE COMBUSTIBLE 17x17 ET GRAPPE DE CONTROLE



La Sûreté



Première barrière :

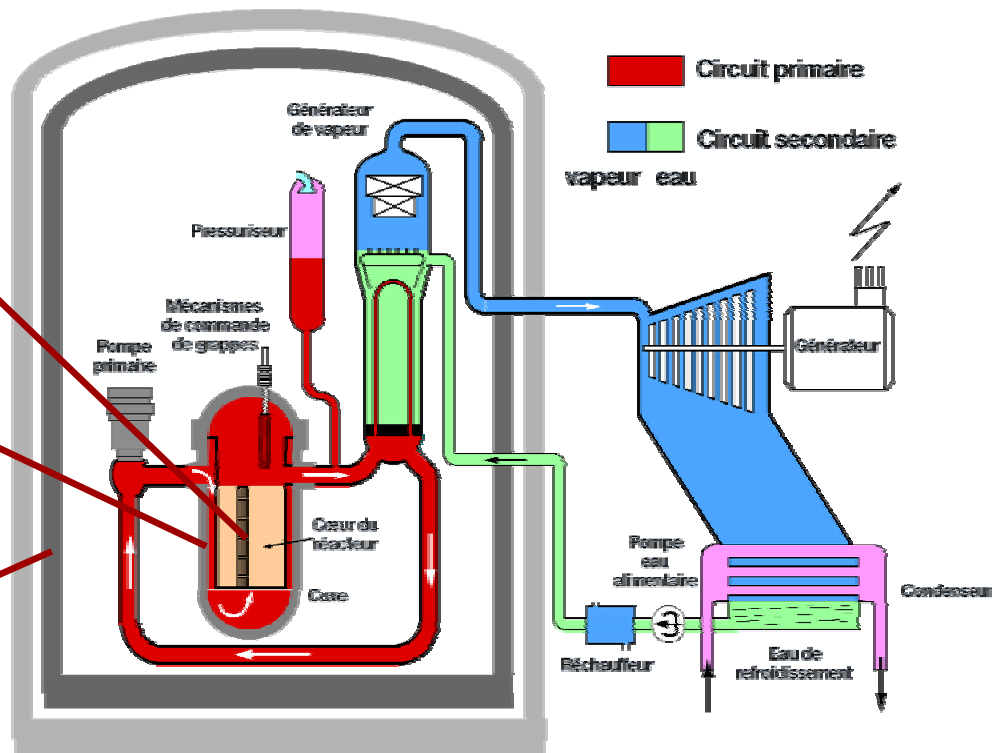
la gaine de l'élément combustible

Deuxième barrière :

l'enveloppe du circuit primaire

Troisième barrière :

l'enceinte de confinement

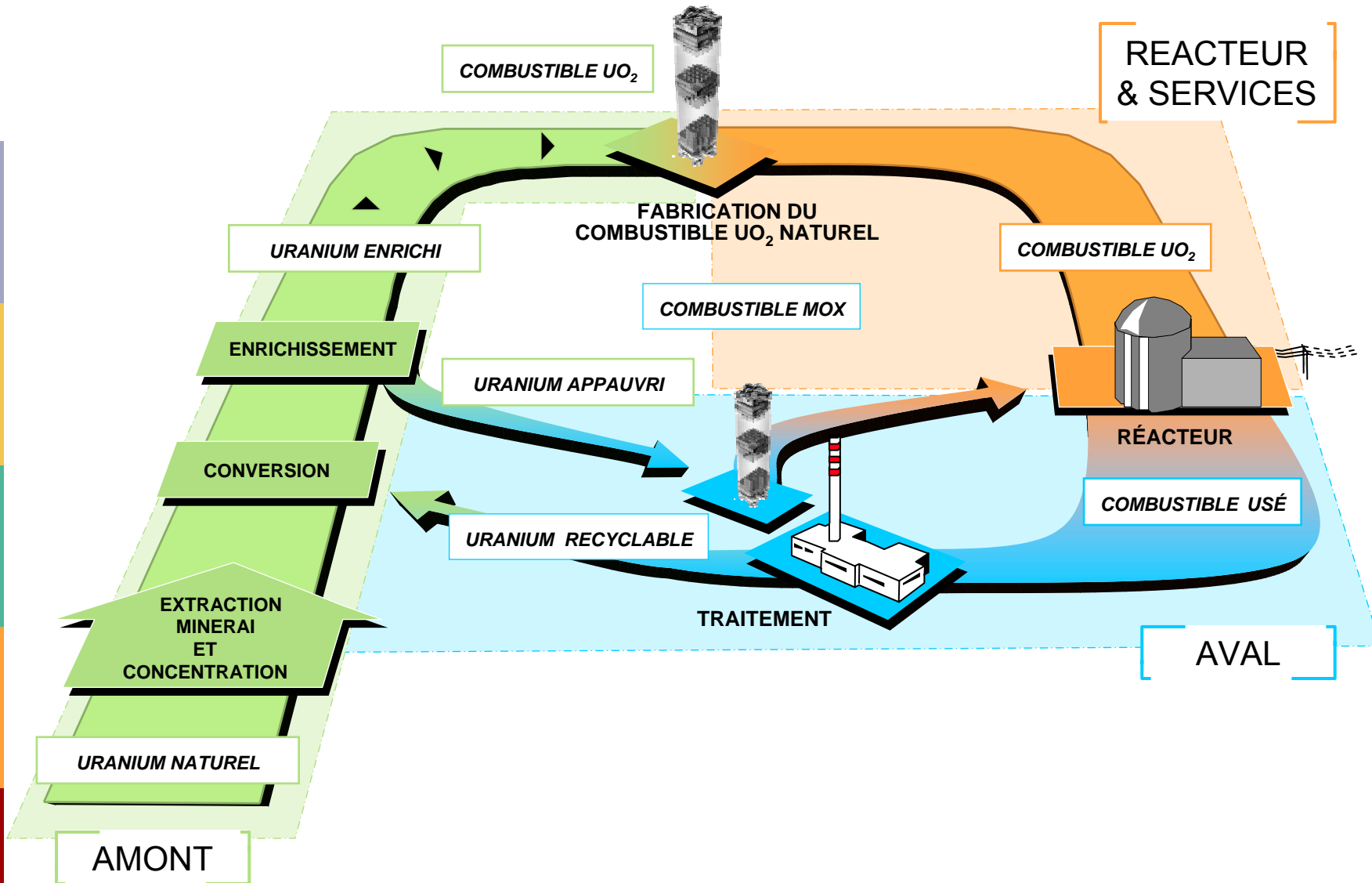


- Une série de barrières de protection, **indépendantes**, emboîtées comme des poupées russes, protègent **en profondeur** les travailleurs et le public contre la radioactivité produite dans le combustible nucléaire
- Les systèmes de sécurité sont **redondants** et **indépendants**

Site de St Alban - St Maurice



Cycle du Combustible



Une dimension essentielle : la durée du cycle



- Certains pays (Suède, etc.) ne « ferment » pas le cycle : combustibles usés = déchets finals. D'autres pays réservent leur décision à ce sujet.

- Un cycle prend une quinzaine d'années environ :
 - ➔ Extraction/concentration T-2 ans
 - ➔ Enrichissement T-1 an
 - ➔ Fabrication T-0,5 an
 - ➔ Chargement en réacteur T
 - ➔ Déchargement T+5 ans
 - ➔ Traitement T+13 ans
 - ➔ Fabrication MOX T+14 ans

- On sait traiter le MOX usé. Le plutonium de MOX usé est « moins bon » que celui de première génération, mais on peut le recycler.

Le traitement des combustibles usés



- Est une option (cycle ouvert ou cycle fermé) offerte aux électriciens
- Permet de récupérer à 96% de matières recyclables
- Optimise le conditionnement des déchets ultimes
- Divise par 5 le volume des déchets ultimes conditionnés
- Divise par 10 la radio-toxicité à long terme des déchets

Le combustible utilisé est recyclable à 96 %



Combustible frais

Uranium 100%
(U 235 4%)

RECYCLABLE

Combustible utilisé

URANIUM 95 %
(U 235 0,8%)

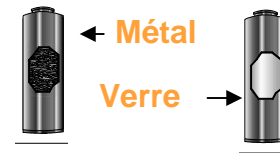
Combustible UOX

PLUTONIUM 1%

Combustible MOX

Produits de fission 4%

Déchets



Problèmes posés à l'énergie nucléaire



Faible coût du pétrole (1985-1998)

Peur des radiations (faibles doses)

Sûreté (accidents graves)

Gestion des déchets radioactifs

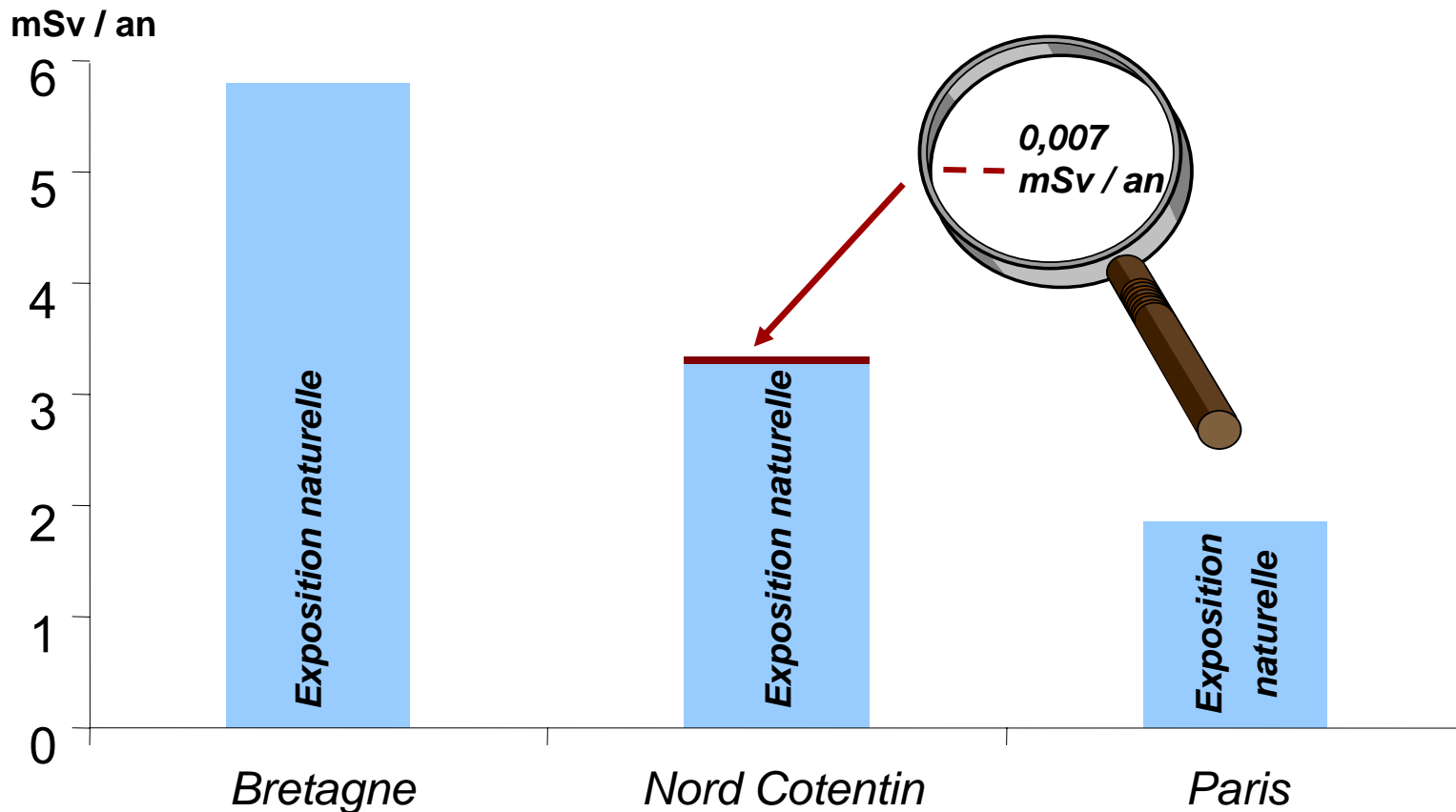
Non-prolifération

Doses des travailleurs dans l'industrie nucléaire



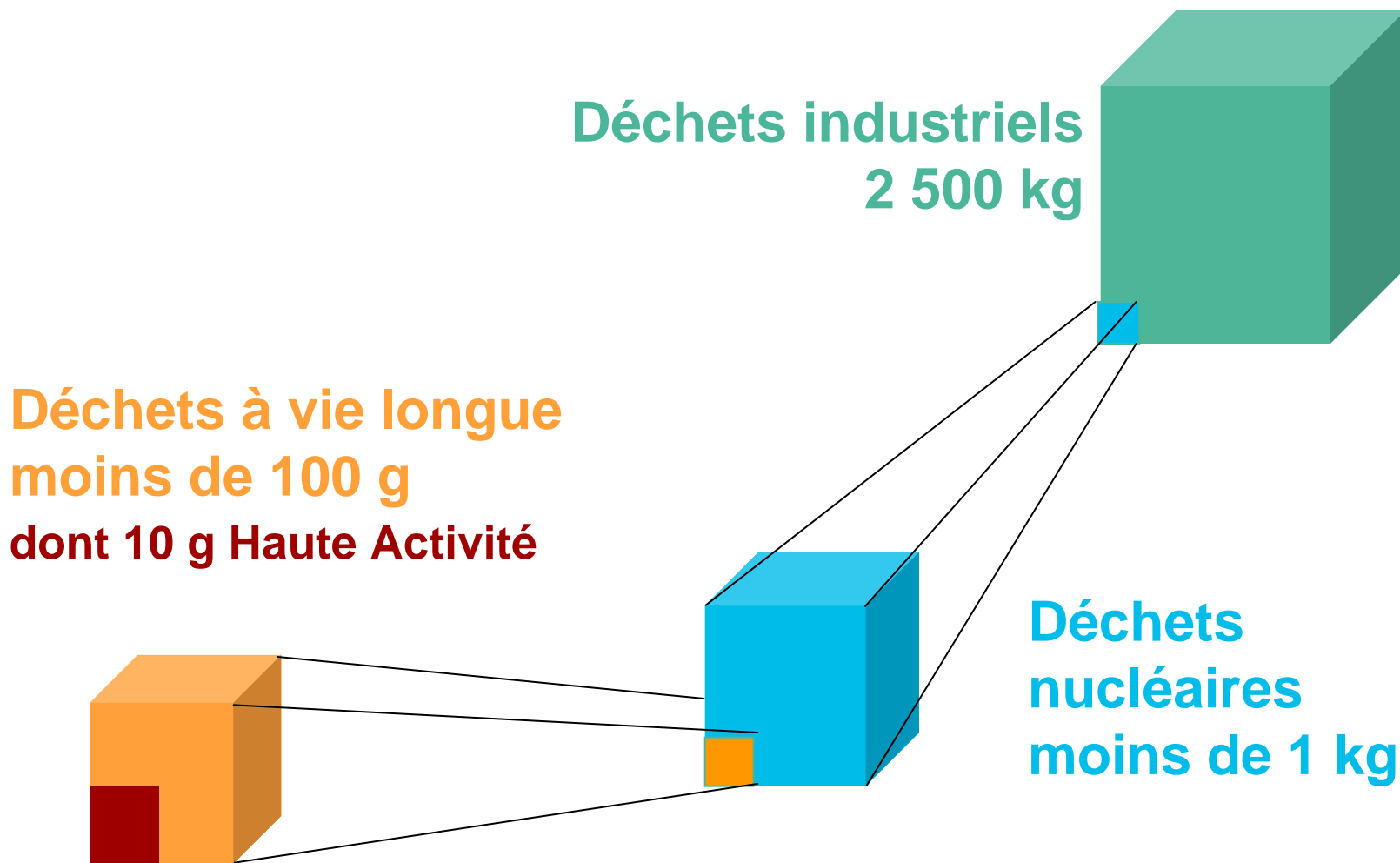
- Le risque de radiations ionisantes s'exprime en doses reçues (unité mSv, milli Sievert)
- Ces radiations se comparent à la radioactivité naturelle qui varie en France de 2 mSv / an à 5 mSv / an.
- Les doses moyennes reçues par le personnel d'un site nucléaire comme La Hague sont de :
 - ➔ 2.4 mSv / an du fait de l'irradiation naturelle
 - ➔ 1.1 mSv / an du fait des examens médicaux
 - ➔ Et moins de 0,1 mSv / an du fait de leur travail
- La dose maximale par individu, admise par les réglementations, pour des travailleurs du nucléaire, est de 20 mSv par an

L'impact radiologique



■ Exposition supplémentaire liée à l'usine COGEMA de La Hague

Déchets / an / habitant en France



* High Level Waste

Il est facile de se protéger de la radioactivité



- 4 mètres d'eau ordinaire,
- 1 mètre de béton,
 - suffisent à arrêter tous les rayonnements émis par les déchets de haute activité.
- Il faut bien prendre la mesure des choses : Quelques mètres de terrain naturel arrêtent aussi le rayonnement
- La radioactivité n'est pas un perce-muraille
- L'enfermement des éléments radioactifs dans des blocs massifs de verre empêche leur dissémination
- Ainsi, la vitrification des éléments radioactifs assure leur innocuité



Le risque d'accident n'est jamais à écarter
Il est évalué par les experts à environ

1 pour 100 000 ans de fonctionnement

***Tout est fait pour l'éviter... et en limiter les
conséquences !***

Avis de l'Académie Nationale de Médecine **Commission XIII (Santé publique, Epidémiologie, Environnement)** **22/6/99**

Les risques pour la santé de l'utilisation de l'énergie nucléaire doivent être comparés à ceux liés à d'autres filières énergétiques. Il convient de rappeler ainsi que le recours à des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) a pour inconvénient de produire, lors de leur combustion, du CO₂ (qui contribue à l'effet de serre) ainsi que des agents cancérigènes et autres polluants.

Dans ce contexte, l'utilisation de l'énergie nucléaire apparaît bien comme un des modes de production de l'électricité les moins polluants et ayant le moins d'inconvénients pour la santé.

Atouts de l'énergie nucléaire



- indépendance énergétique
- ressource a long terme
- découplage des prix de matières premières
- protection de l'environnement
- localisation des emplois
- balance des paiements
- exportations

Enjeux énergétiques mondiaux

La place du Nucléaire

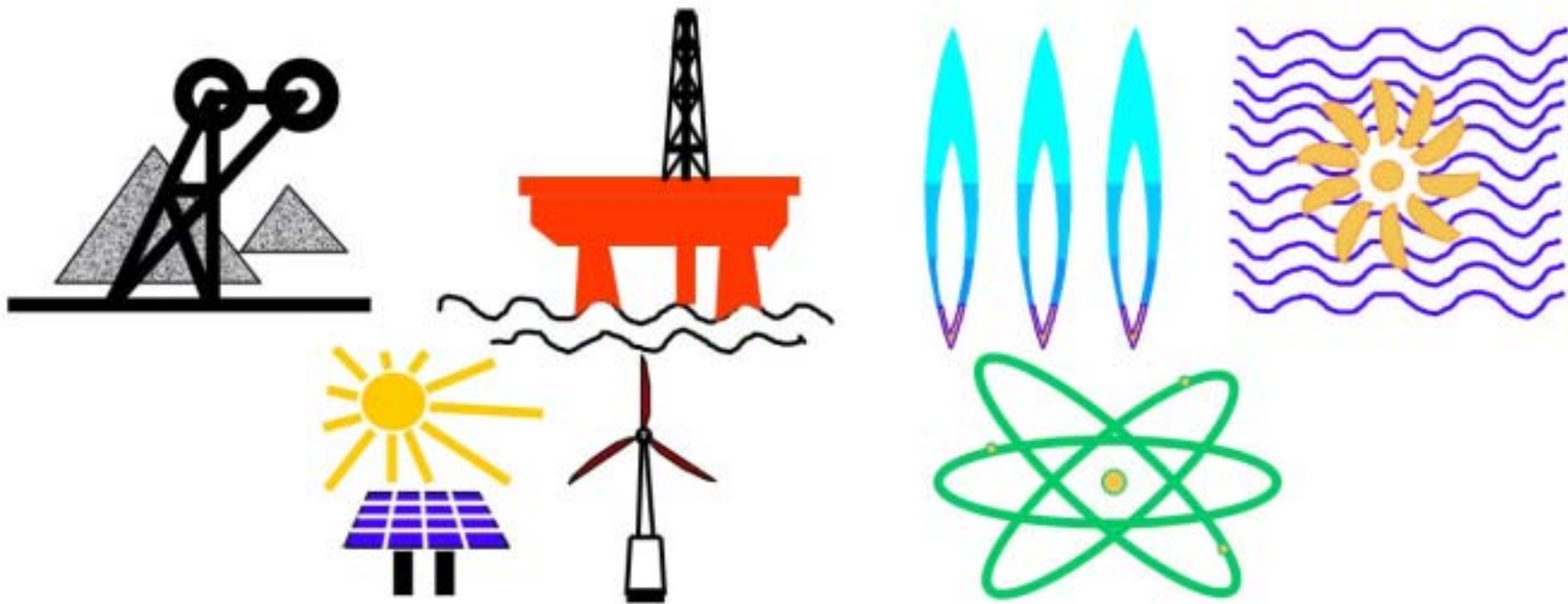


- La demande : hier, aujourd'hui, demain
- L'offre : les différentes sources
- Les contraintes du développement durable
- Zoom sur la France
- Spécificités de l'énergie nucléaire
- Résumé

Pour 9 ou 10 milliards d'êtres humains en 2050



- Il faudra produire l'équivalent de 15 milliards de tonnes de pétrole par an
- On aura besoin de TOUT !



Enjeux énergétiques mondiaux

La place du Nucléaire



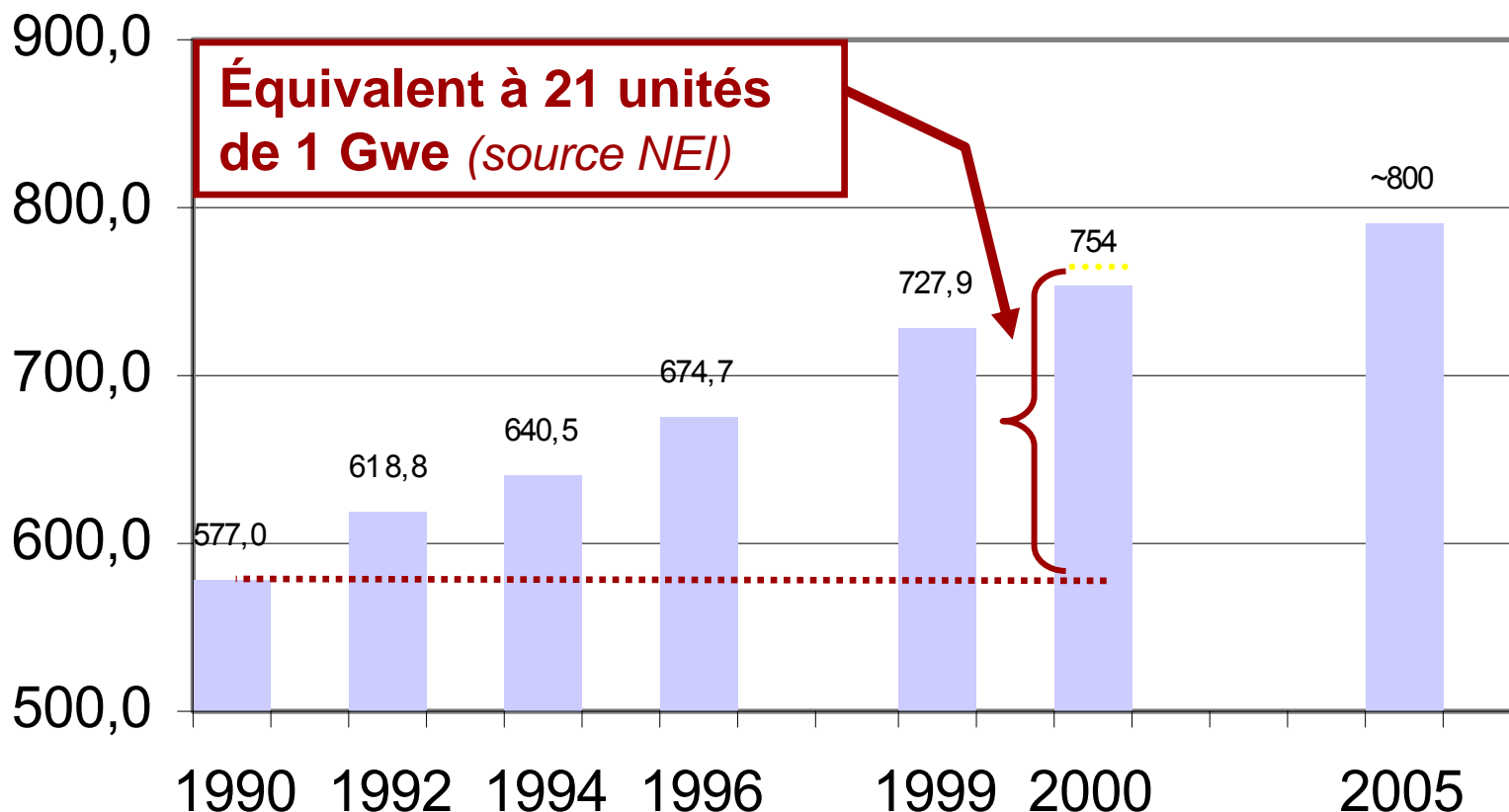
Annexes

Scénarios CME-IIASA



- Scénarios A : Croissance soutenue, augmentation simultanée de la richesse et de la productivité
 - ➔ A1 : Pas de limite aux ressources en hydrocarbures. La technologie donne accès aux ressources non-conventionnelles.
 - ➔ A2 : Progrès technologiques moins spectaculaires. Recours obligatoire au charbon.
 - ➔ A3 : Les contraintes de l'effet de serre obligent à développer nucléaire et renouvelables
- Scénario B : Tendence moyenne.
- Scénarios C : Priorité à l'écologie
 - ➔ C1 : Élimination volontairement programmée du nucléaire à l'horizon 2100
 - ➔ C2 : Meilleure acceptation publique du nucléaire, grâce aux réacteurs de nouvelle génération

Les Etats-Unis ont augmenté leur production d'environ 30 % entre 1990 et 2000 sans nouveau réacteur

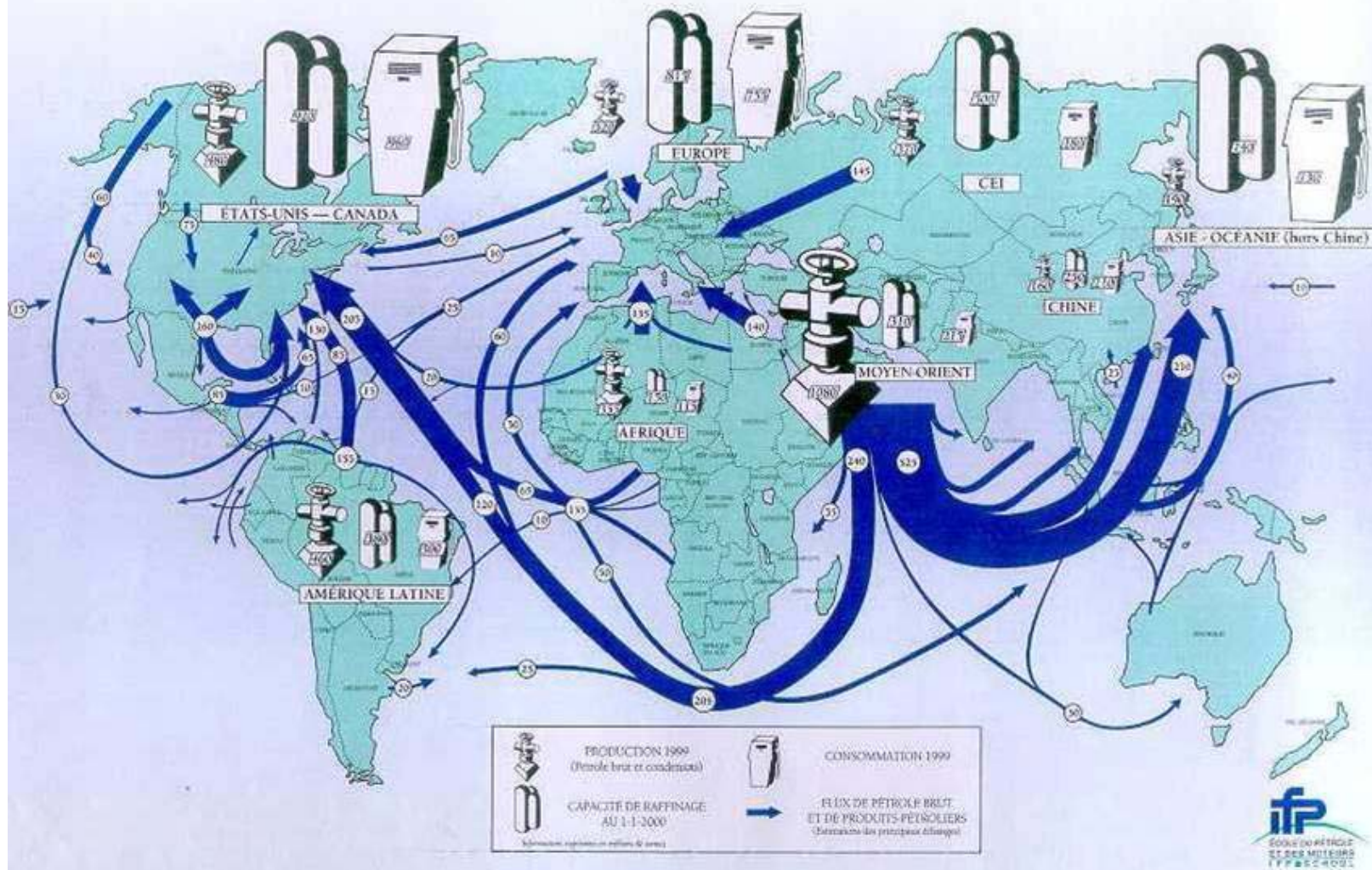


Source - EIA/NEI

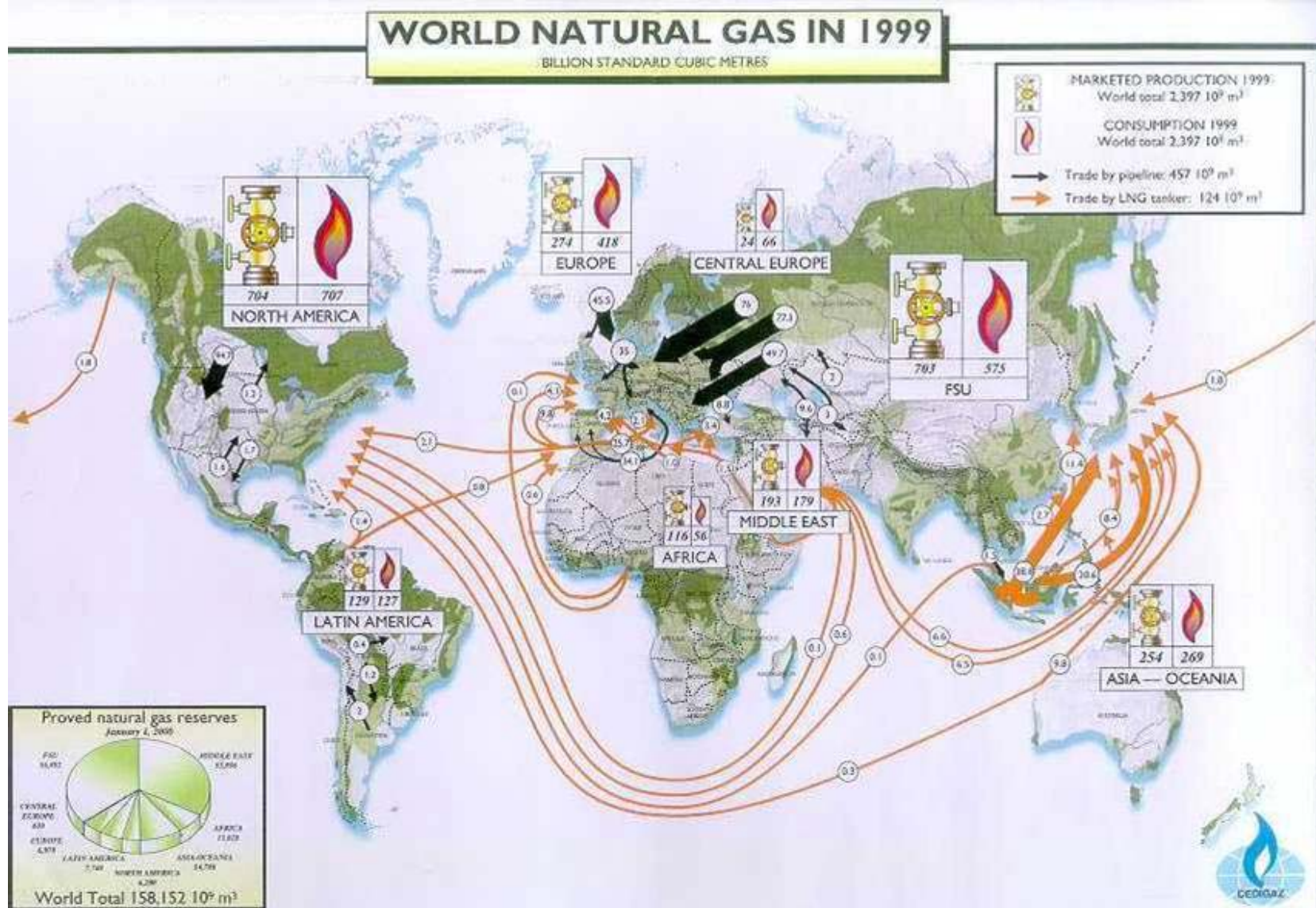
Les flux pétroliers



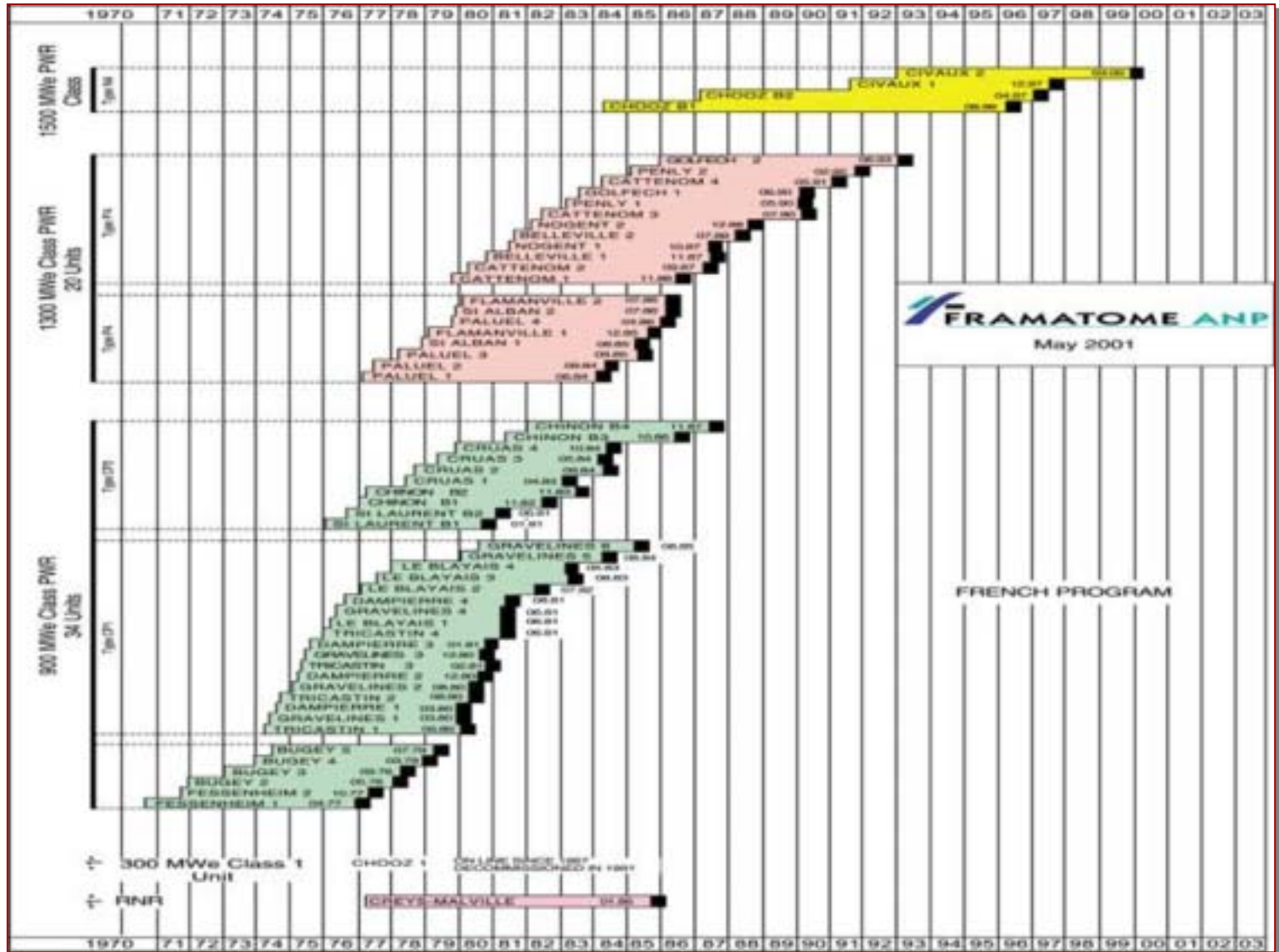
LE PÉTROLE DANS LE MONDE EN 1999



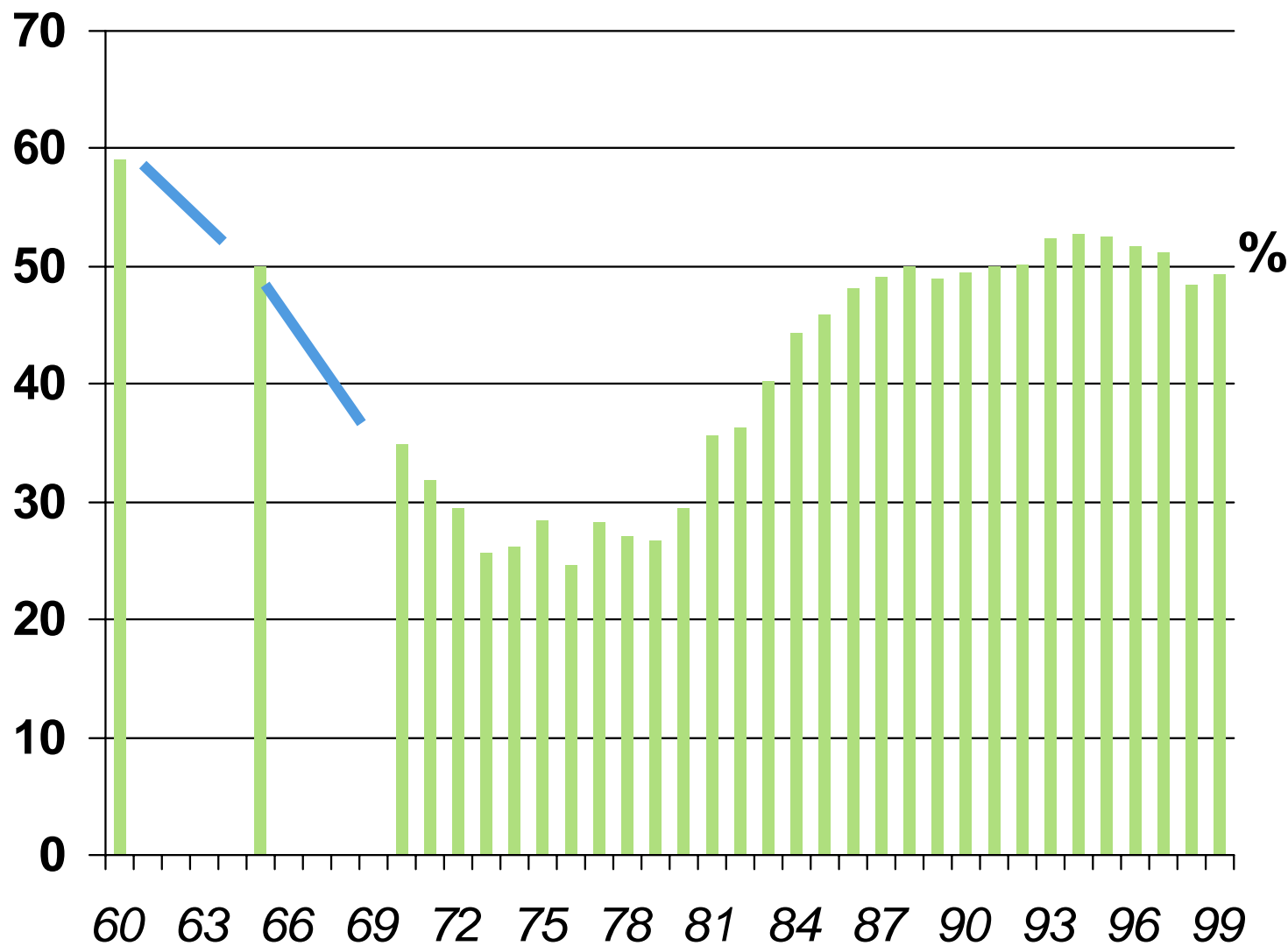
Les flux gaziers



Le programme électronucléaire Français



Taux d'indépendance énergétique en France



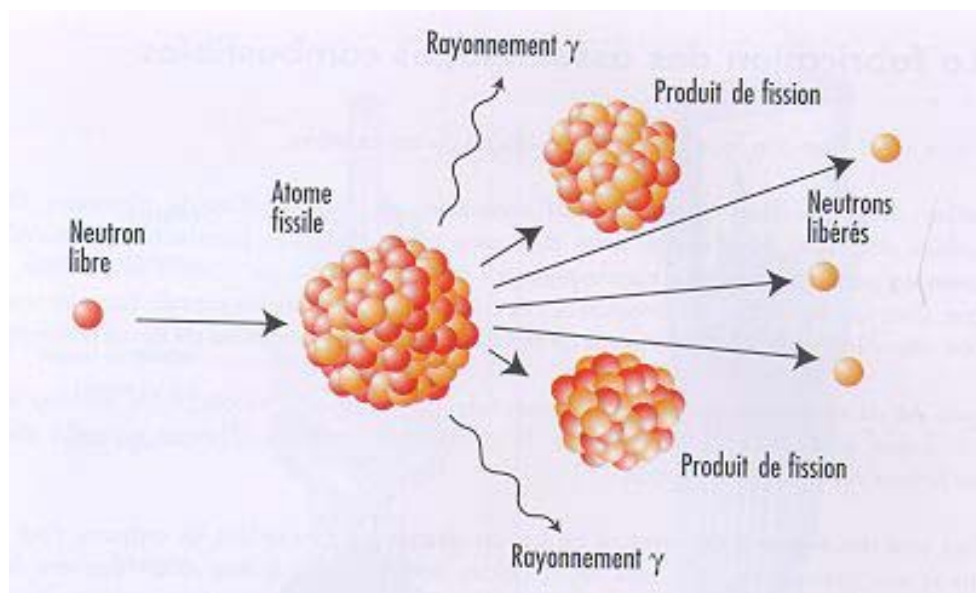
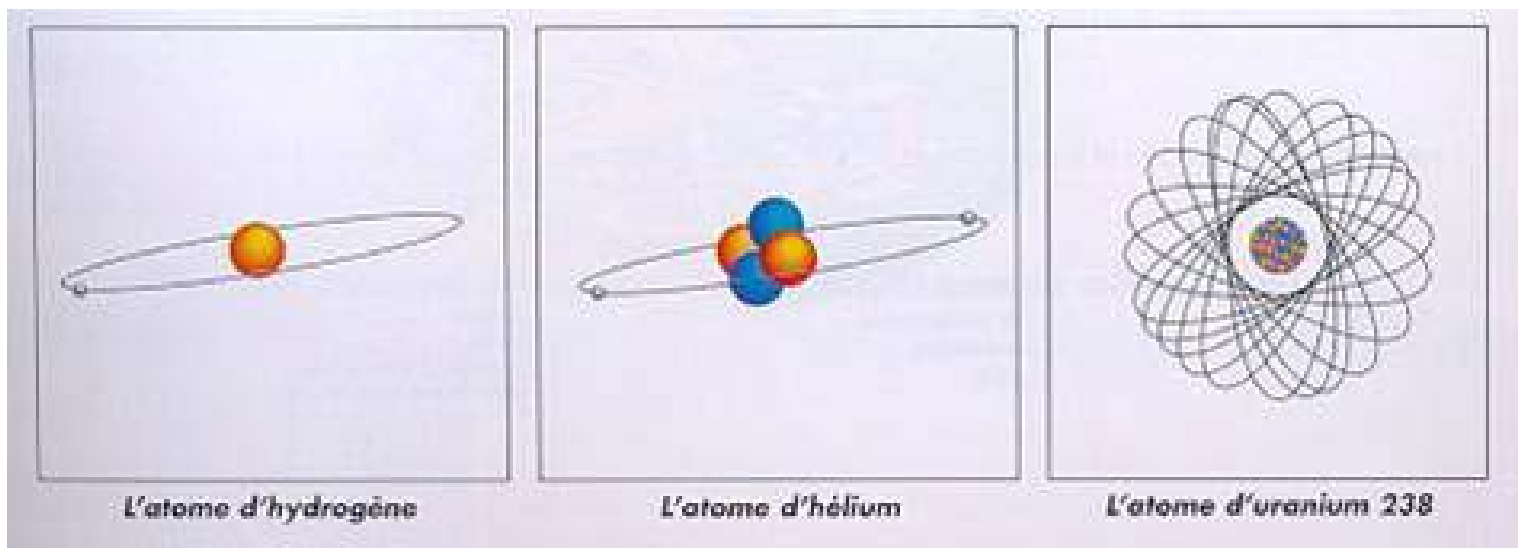
L'énergie nucléaire : le moyen le plus économique de produire l'électricité



- La prise en compte des impacts sur l'environnement (effet de serre, pollution atmosphérique...) accentue l'avantage.
- Les fourchettes suivantes sont données dans les différents pays européens :

€/MWh	<i>Nucléaire</i>	<i>Gaz turbine mixte</i>
Coût total de production	<i>24 à 30</i>	<i>22 à 35</i>
Coût des impacts sur l'environnement (y compris effet de serre)	<i>0,5 à 2,5</i>	<i>6 à 30</i>
Total	<i>25 à 33</i>	<i>28 à 65</i>

Atome - Fission

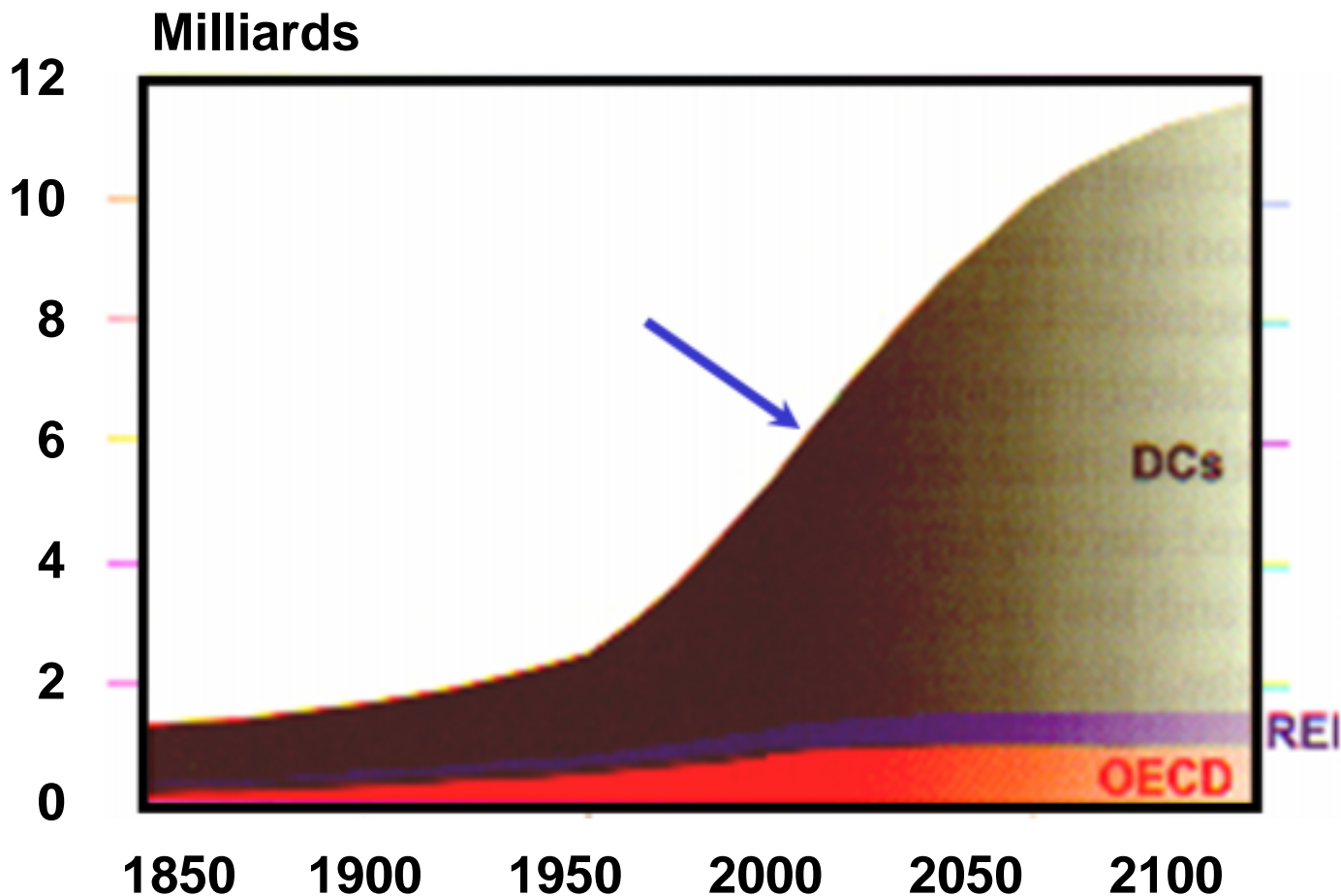


La fission nucléaire

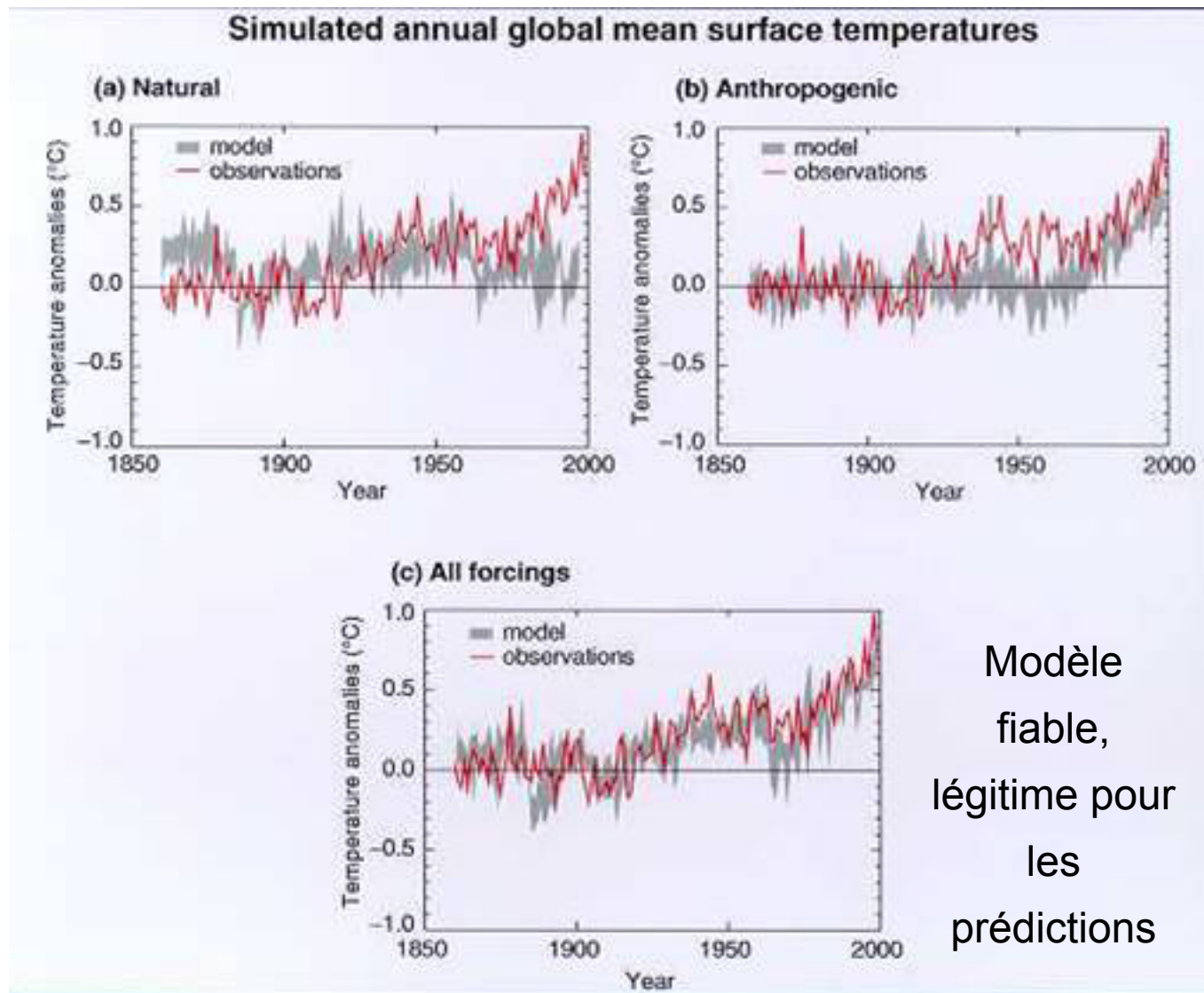


- Est possible avec quelques noyaux lourds « fissiles » :
 - ➔ ^{235}U (seul « naturel »), ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{233}U
- Produit ~2,5 nouveaux neutrons :
 - ➔ réaction en chaîne,
 - ➔ conversion de « fertiles » ^{238}U , ^{232}Th en fissiles
- Libère une énergie considérable, 10^6 énergie chimique, sous forme d'énergie cinétique des fragments, qui devient énergie thermique. 1g Pu > 1t pétrole
- Laisse des résidus radioactifs en série
 - ➔ puissance résiduelle à évacuer après arrêt
 - ➔ déchets de haute activité
- Nécessite un « cycle du combustible »

L'augmentation de la population mondiale sera localisée dans les Pays en voie de Développement (World Bank 1992)

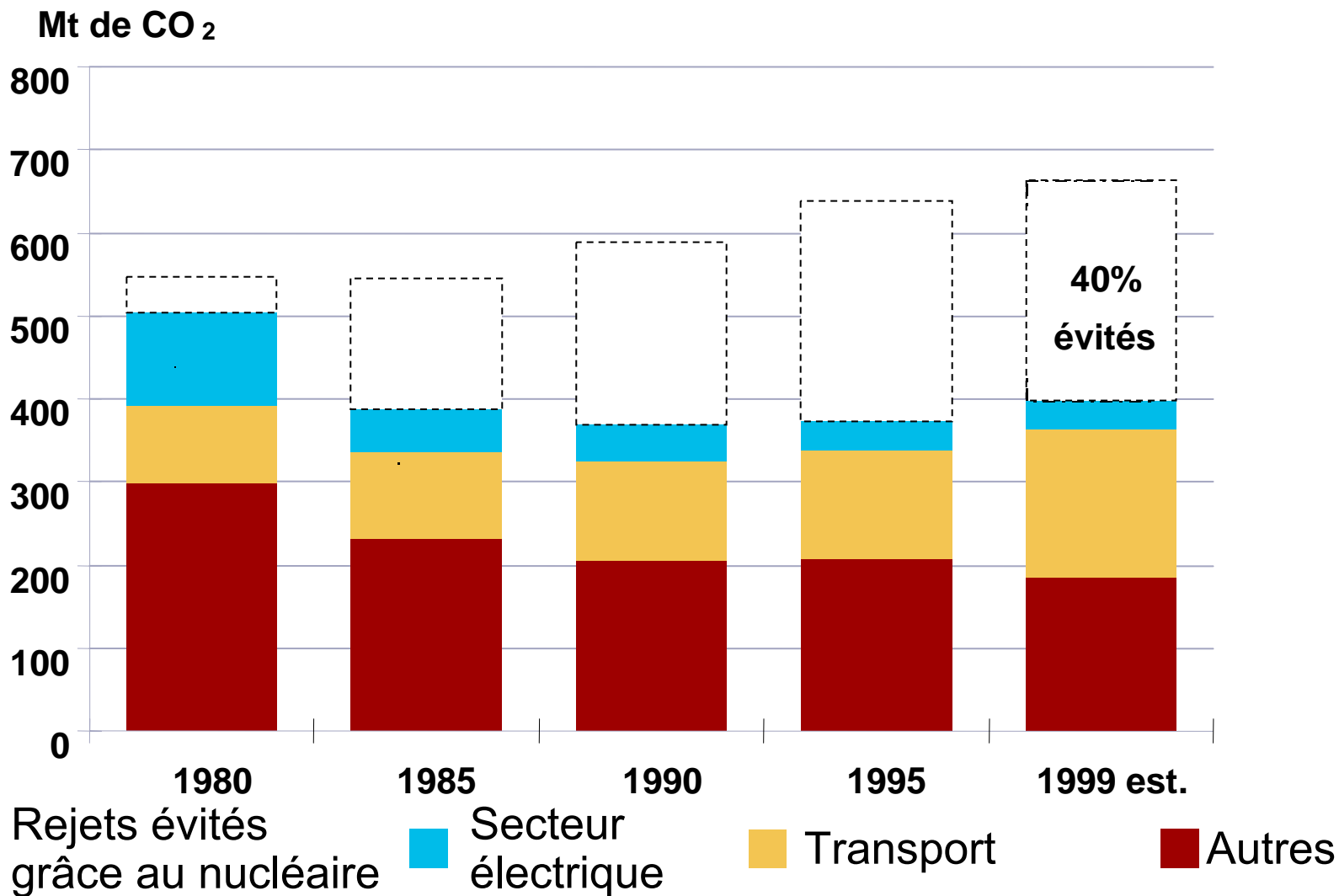


Effet naturel ou anthropique ?



Modèle
fiable,
légitime pour
les
prédictions

France : émissions totales de CO₂



Sources : DGEMP (2000), Commission Européenne (janv. 2000)